

Table 1

Magnetic constants in the case of applied magnetic field along the a-axis:  $T_N$  is Neel temperature;  $\mu_{eff}$  is magnetic moment of 3d-transition metal;  $\theta_p$  is Weiss temperature.

| 3d-transition ion(s) | $T_N (K)$ | $\mu_{eff} (\mu_B)$ | $\theta_p (K)$ |
|----------------------|-----------|---------------------|----------------|
| Ni                   | 23        | 3.53                | -78            |
| Ni-Co                | 24        | 3.56                | -68            |
| Ni-Mn                | 25        | 3.60                | -81            |
| Mn                   | 37        | 5.70                | -77            |

Doping lithium nickel orthophosphate by Co- or Mn-ions leads to increase of Neel temperature and the magnetic moment these materials.

The research was supported by the Federal Agency for Scientific Organizations of Russia (theme “Flux” No. 01201463334) and by the State contract (No. 1362) between Ural Federal University and Russian Federation Ministry of Education and Science.

1. Zaghbi K., Mauger A., Groult H., Goodenough J.B., and Julien C.M., Materials 6, 1028 (2013).
2. Ben Bechir M., Ben Rhaïem A., and Guidara K., Bull. Mater. Sci. 37, 473 (2014).

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ОКСИДНОГО СЛОЯ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ Ti/TiO<sub>2</sub>/Au

Дорошева И.Б.<sup>\*</sup>, Грязнов А.О., Камалов Р.В., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [dorosheva1993@mail.ru](mailto:dorosheva1993@mail.ru)

## EFFECTS OF OXIDE LAYER THICKNESS ON THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF Ti/ TiO<sub>2</sub>/Au STRUCTURE

Dorosheva I.B<sup>\*</sup>, Gryaznov A.O., Kamalov R.V., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Oxide layers with 80, 120, 160 and 200 nm thickness were synthesized on surfaces of titanium foil via electrochemical oxidation for 5, 10, 15 and 20 min, respectively. The current-voltage characteristics of the fabricated Ti/TiO<sub>2</sub>/Au sandwich-structure were investigated in full cycles of resistive switching. For micromemristors with  $\approx 160$  nm oxide thick-

ness more 20 cycles of switching was found and ratio in the low-and high- resistance states  $R_{HRS}/R_{LRS} \approx 700 - 760$  was determined.

Создание искусственных нейронных сетей и нейрокомпьютеров является одним из приоритетных направлений в области развития информационных систем в настоящее время. Основой таких устройств являются мемристорные матрицы на базе слоистых структур металл-оксид-металл. Известно, что толщина и дефектность оксидного слоя определяют отношение между электрическими сопротивлениями структуры в низко- ( $R_{LRS}$ ) и высокоомном ( $R_{HRS}$ ) состояниях, а значит и ее помехозащищенность. В связи с этим, цель работы состояла в исследовании влияния толщины оксидного слоя на вольт-амперные характеристики (ВАХ) микромемристорных ячеек на основе  $Ti/TiO_2/Au$  структур.

Методом анодирования титановой фольги марки BT1-0 при напряжении 10 В синтезировано 4 образца (M1 – M4). Толщина оксидного слоя варьировалась временем окисления в диапазоне 5 – 20 мин и составила: 80 (M1), 120 (M2), 160 (M3) и 200 нм (M4). В качестве электролита использовался раствор этиленгликоля (50 об.%), глицерина (45 об.%) и воды ( $H_2O$ , 5 об.%) с добавлением 0.5 г фторида аммония. Затем на полученных образцах с использованием вакуумной установки магнетронного напыления Q150T ES (Quorum Technologies) формировались золотые контакты диаметром 100 мкм и толщиной 100 нм масочным методом. Было изготовлено более 100 мемристоров в едином технологическом цикле на каждом образце и исследованы их электрические характеристики.

Измерения ВАХ для мемристоров проводили с использованием программируемого модульного источника питания PXI-4143 (National Instruments) и микронзондовой станции MPS 150 (Cascade Microtech). На электрические контакты (Au – «фаза», Ti – «ноль») подавался гармонический сигнал амплитудой до  $U = 1.5$  В с частотой  $f = 0.01$  Гц. Перед измерением ВАХ проводилась процедура электроформирования каждого мемристора положительным напряжением до 3 В. При измерениях ток ограничивали на уровне 10 мА.

Показано, что измеренные ВАХ являются нелинейными и обладают гистерезисом. При отрицательной полярности напряжения  $|U| = 0.5 - 1.5$  В мемристор переключается в низкоомное состояние. Дальнейшее изменение амплитуды и полярности приложенного напряжения приводит к переходу структуры в высокоомное состояние при  $U = 0.5 - 1.5$  В. Для всех сэндвич-структуры  $Ti/TiO_2/Au$  характерно биполярное резистивное переключение. Обнаружено, что для образцов M2 и M3 количество циклов переключений  $n > 20$ , а для образцов M1 и M4 –  $n < 3$ . Выполнена оценка сопротивлений для исследуемых мемристоров при одинаковых значениях напряжения  $U = \pm 0.2$  В. Наибольшие соотношения  $R_{HRS}/R_{LRS} \approx 700 - 760$  и  $300 - 680$  получены для образцов M3 и M4. Сделан вывод о перспективности использования синтезированной структуры  $Ti/TiO_2/Au$  в качестве функциональной среды для элементов энергонезависимой памяти.